

CompPlexus: programa para avaliação de complexidade de padrões em imagens multiespectrais de sensores remotos

Laura Barbosa Vedovato¹
Luiz Eduardo Vicente²
Fernando Antônio de Pádua Paim²
José Roberto Castilho Piqueira³
Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos⁴

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP
CEP 13506-900- Rio Claro-SP, Brasil
lauravedovato@hotmail.com

²Embrapa Monitoramento por Satélite
CEP 13070-115- Campinas-SP, Brasil
{vicente,fernando}@cnpm.embrapa.br

³Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP
CEP 05508-900 - São Paulo- SP, Brasil
piqueira@lac.usp.br

⁴Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas –
UNICAMP
CEP 13083-970, Campinas-SP, Brasil
sergiohm@ige.unicamp.br

Abstract. Landscape metrics are widely used in remote sensing to evaluate attributes and patterns of targets of interest. To be accepted and easily adopted, a landscape metric must have a consistent theoretical background and, at the same time, be available on an interface which permits to apply this measure without require very specific knowledge about how to implement it in researchers’ routines of generation and analysis of data. This paper discusses two landscape metrics based on informational entropy that can be used to evaluate the complexity (in sense of heterogeneity) of multispectral images patterns. Also, it is presented CompPlexus, a software designed to facilitate the use of such metrics. The software was tested in an ASTER multispectral sensor image covering the area of Itirapina Ecologic Station (municipality of Itirapina, state of São Paulo, Brazil) and surroundings, where were choosed for the implementation of the measures of complexity areas with more homogeneous patterns and others with heterogeneous patterns. The results had showed that both measures were well-succeeded in differentiating homogeneous and heterogeneous areas. The two metrics also had allowed to locate the position of each pattern within the order-disorder gradient, enabling the evaluation of its level of organization. CompPlexus software was an accurate and easy-to-use tool for the calculation of the complexity of multispectral images patterns.

Palavras-chave: remote sensing, landscape complexity measures, image processing, Cerrado; sensoriamento remoto, medidas de complexidade da paisagem, processamento de imagens, Cerrado

1. Introdução

O estudo da paisagem sempre se valeu do sensoriamento remoto orbital e não-orbital para o mapeamento, análise e monitoramento das paisagens. Um dos precursores da ecologia da paisagem, Carl Troll, já apontava (e se utilizava) a profícua relação entre o uso de fotografias aéreas e o entendimento da paisagem (NAVEH & LIEBERMAN, 1993). O advento dos

sensores orbitais e o acesso cada vez mais facilitado às imagens por eles geradas permitiram a aplicação do sensoriamento remoto nos mais diversos campos do conhecimento ligados ao estudo da paisagem. Atualmente, tem-se disponível uma gama cada vez maior de sensores remotos, sobretudo no que tange ao avanço de resoluções espaciais e espectrais cada vez melhores (EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE - CNPM, 2012).

Por outro lado, as chamadas “métricas de paisagem”, oriundas do campo científico criado por Troll, vêm contribuindo de maneira efetiva na mensuração de características inerentes aos alvos. De modo geral, tais métricas são usadas para se tentar identificar padrões e, a partir destes, interpretar os possíveis processos que levam a sua formação. A classificação de imagens a partir da diferenciação dos padrões texturais e espectrais de alvos distintos é outra aplicação possível para as métricas de paisagem (MATTOS, 2010).

A aceitação e adoção de uma determinada métrica para o estudo da paisagem depende de aspectos conceituais e práticos. Conceitualmente, a métrica deve estar embasada em um corpo teórico que permita uma interpretação coerente e consistente dos valores por ela obtidos. Tal é o caso de métricas baseadas no conceito de entropia informacional, bastante usadas para quantificar a heterogeneidade/complexidade da paisagem e, a partir delas, avaliar o seu nível de auto-organização (FARINA, 1998; FEAGIN, 2005).

O índice de diversidade de Shannon é uma das métricas baseadas na entropia informacional mais difundidas, enquadrando-se na categoria de medidas que consideram a complexidade como uma função direta da desordem, atribuindo valores mais baixos de complexidade aos estados ordenados e valores elevados a estados desordenados (KANEKO & TSUDA, 2001; SHINER *et al.*, 1999). Outras medidas invertem a interpretação, associando maior complexidade com estados mais ordenados (SHINER *et al.*, 1999). Entretanto, ambos os tipos de medidas podem ser consideradas inadequadas para avaliação da complexidade da paisagem, pois, conforme aponta Parrott (2005), os sistemas espacialmente mais complexos são aqueles cujo padrão espacial se situa numa zona intermediária entre uma distribuição regular (ordenada) e uma distribuição aleatória. Sendo assim, a complexidade máxima estaria localizada entre essas duas situações extremas, o que pode ser matematicamente expresso a partir de uma função convexa da desordem (SHINER *et al.*, 1999).

Medidas baseadas na entropia informacional foram utilizadas por Mattos (2010) para avaliar a complexidade dos padrões texturais e espectrais de fisionomias do Cerrado paulista e os resultados obtidos levaram a interessantes interpretações a respeito da organização e dinâmica do Cerrado. Além disso, as medidas SDL e LMC se mostraram mais eficientes em diferenciar as diversas fitofisionomias de Cerrado que métricas baseadas na dimensão fractal (MATTOS, 2010).

Além de aspectos conceituais, a difusão na comunidade acadêmica de uma métrica de paisagem depende da facilidade de se utilizar tal medida sem que haja necessidade de conhecimentos muito específicos sobre como implementá-la nas rotinas de geração e análise dos dados. Comumente, a solução para tornar uma métrica mais acessível é o desenvolvimento de aplicativos e caixas de ferramentas (“toolbox”) que funcionam dentro de programas específicos ou de modo independente a partir da importação de dados primários externos. Pode-se citar como exemplo o programa FRAGSTATS: criado por dois pesquisadores da Universidade de Oregon (MCGARIGAL & MARKS, 1994), o programa foi disponibilizado para acesso público em 1995 e, a partir de então, novas versões foram sendo criadas, ampliando as métricas disponíveis e a integração com SIGs (MCGARIGAL *et al.*, 2012).

No presente trabalho, apresenta-se o programa *CompPlexus*, criado com o objetivo de avaliar a complexidade dos padrões texturais e espectrais de imagens orbitais por meio de duas métricas baseadas na entropia informacional.

2. Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de Cerrado pertencente à Estação Ecológica de Itirapina e seu entorno, localizada nos municípios de Itirapina e Brotas (Figura 1), totalizando 2.300 ha. Está localizada entre as coordenadas geográficas 22° 11' e 22° 15' latitude sul e 47° 51' e 48° 57' longitude oeste (INSTITUTO FLORESTAL, 2006).

A estação ecológica de Itirapina foi escolhida justamente por possuir várias fitofisionomias de Cerrado, fornecendo vários alvos distintos para a análise. Ela possui uma série de processos de fragmentação comuns a diversas áreas, no que tange a heterogeneidade de coberturas vegetais e tipo de solo, assim como o uso antrópico (VICENTE, 2007).

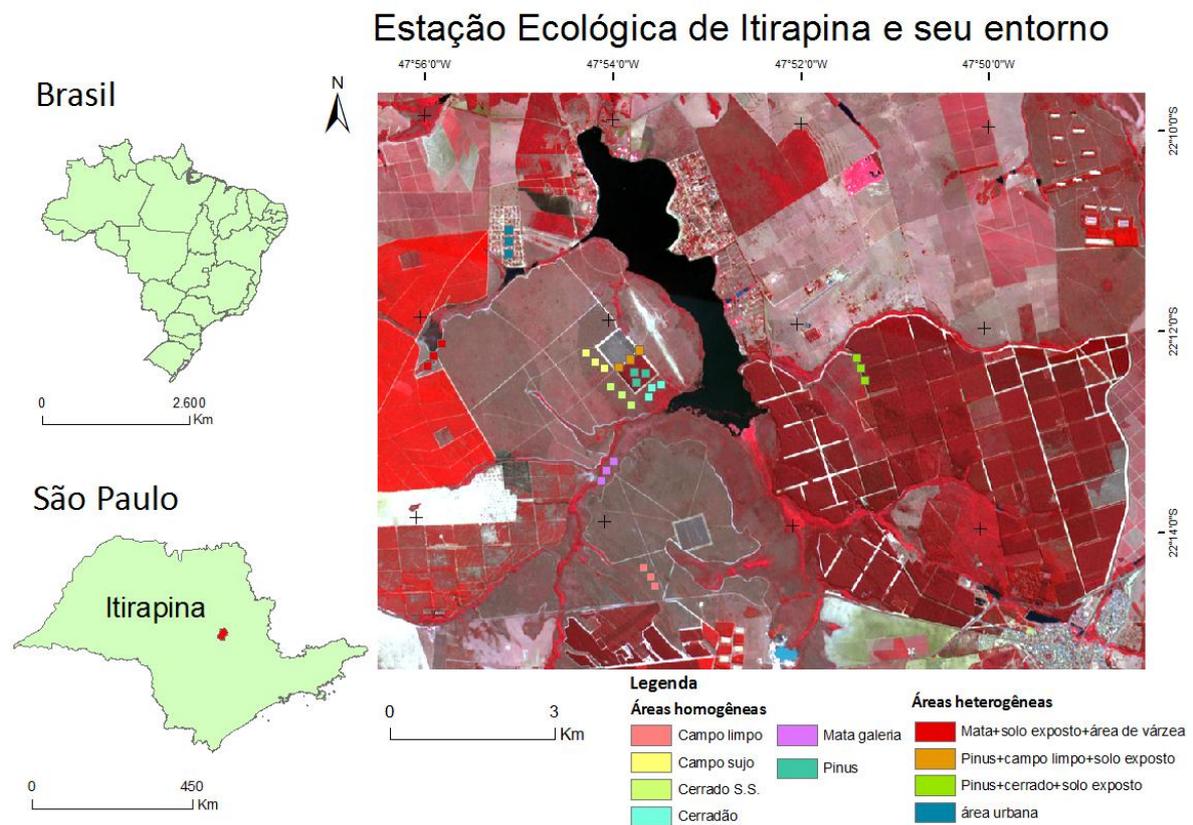


Figura1. Área de estudo. Imagem ASTER composição colorida R3, G2, B1.

3. Metodologia

A heterogeneidade de padrões vegetacionais pode nos indicar o grau de complexidade de uma paisagem. A partir da complexidade é possível avaliar e quantificar padrões, gerando assim métricas de paisagem e diferenciando áreas heterogêneas de homogêneas.

Neste trabalho utilizamos uma imagem do sensor ASTER obtida no dia 14/06/2002. Este sensor possui 14 bandas espectrais sendo que 3 cobrem as faixas espectrais do visível (VIS- Visible entre 0.52 e 0.69 μm) e do infravermelho próximo (NIR- Near Infrared entre 0.78 e 0.86 μm), com resolução de 15 metros; 6 bandas que cobrem o infravermelho de ondas curtas (SWIR - Short Wave Infrared entre 1.600 e 2.430 μm) com resolução de 30 metros; e 5 bandas no infravermelho termal (TIR- Thermal Infrared entre 8.125 e 11.650 μm) com 90 metros de resolução (Hook et al. 1999). Para a execução deste trabalho utilizamos somente as bandas referentes ao comprimento de onda do visível, infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas (0.4 – 2.5 μm).

Esta imagem foi corrigida para os efeitos da atmosfera e convertida para valores de reflectância de superfície, minimizando desta maneira as influências de aerossóis e gases que interferem na absorção e espalhamento da radiação eletromagnética (REM) causando alterações na forma de feições de absorção (VICENTE et al., 2007), bem como facilitando a interpretação do comportamento espectral do conjunto de dados a serem processados pelo programa.

Para o estudo escolhemos áreas que correspondem a padrões homogêneos como campo limpo, campo sujo, cerra dão e pinus e padrões heterogêneos com misturas de pinus, campo limpo, cerrado, solo exposto e área de várzea. Todas essas fitofisionomias foram identificadas em trabalho de campo.

Para avaliar a complexidade das áreas utilizamos duas métricas baseadas no conceito de entropia informacional:

- Medida SDL

Esta medida considera que a complexidade aumenta em função do aumento da desordem do sistema (Shiner & Davison, 1999). Para calculá-la, é necessário definir inicialmente o número total de estados possíveis do sistema, chamado de extensão do sistema (N).

Por meio deste valor, pode-se calcular a entropia máxima do sistema H_{max} (a qual é alcançada quando todos os estados são equiprováveis), definida pela seguinte equação (Equação 1):

$$H_{max} = \log_2 N \quad (1)$$

A estrutura do sistema se dá calculando-se a probabilidade de cada estado, p_i , e a entropia informacional, H_e , pela seguinte equação (Equação 2):

$$H_e = \sum_{i=1}^N p_i \log (1/p_i) \quad (2)$$

A medida de complexidade é obtida dividindo-se a entropia informacional calculada, H_e , pela entropia máxima, H_{max} (Equação 3):

$$C = H_e/H_{max} \quad (3)$$

Esta medida nos fornece valores de complexidade que estão relacionados a estados desordenados, assim podemos identificar se o sistema se encontra mais próximo da ordem ou desordem.

- Medida LMC

Para obter essa medida também é necessário cálculo da extensão do sistema (N), a entropia máxima (H_{max}) e a entropia informacional associada à estrutura do sistema (H_e). A complexidade é dada pela seguinte equação (Equação 4):

$$C = [1 - (H_e/H_{max})(H_e/H_{max})] \quad (4)$$

Com essa medida os maiores valores de complexidade se encontram em uma região intermediária entre ordem e desordem, ou seja, a maior complexidade se encontra em um estado de heterogeneidade intermediária.

- Desenvolvimento e aplicação de software para medidas de complexidade

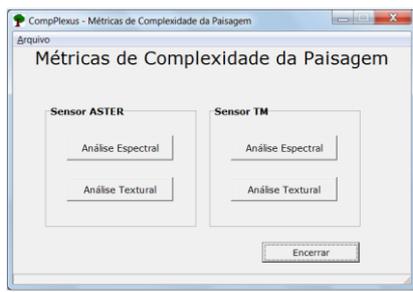
O programa *CompPlexus* foi desenvolvido em C++ Builder[®] 6.0 em ambiente Windows. O aplicativo também pode ser executado em ambiente Linux por meio do emulador *Wine*, já que não há nenhuma dependência forte ao sistema operacional.

As funcionalidades do programa abordam a aplicação de métricas relacionadas à complexidade da paisagem. Dentre vários cálculos que são realizados, o foco está sobre as medidas SDL e LMC. Há duas opções para realização dos cálculos de tais medidas: “Espectral” e “Textural”, correspondentes ao tipo de padrão que se quer avaliar.

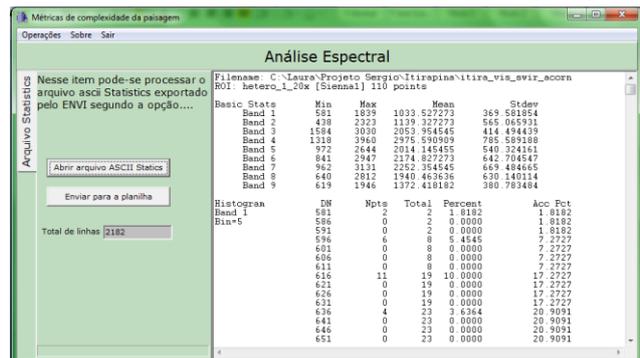
Para a análise dos padrões espectrais, o programa é alimentado pelos dados pelo relatório “Statistic” gerado pelo software ENVI[®] a partir da “Roi tool”. O arquivo ASCII gerado pelo ENVI[®] é importado pelo programa *CompPlexus* e os dados são carregados em uma planilha para verificação dos mesmos e facilitação dos cálculos.

Para os cálculos das medidas SDL e o LMC, diversas funcionalidade estão disponíveis, tais como o filtro de informações por banda e a opção de se ignorar os dados com valores nulos que podem interferir na interpretação adequada do resultado. O programa *CompPlexus* também disponibiliza uma variedade de gráficos que podem auxiliar na visualização de valores e comportamentos das variáveis. As planilhas de cálculos geradas pelo programa podem ser gravadas em formato ASCII, o que permite abri-las facilmente em programas clássicos para o processamento das mesmas, tais como Apache[®], Office Calc[®] e Excel[®], facilitando assim o intercâmbio de dados.

Para a avaliação da complexidade dos padrões texturais, o programa *CompPlexus* analisa a matriz tridimensional que armazena os dados relativos a uma imagem RGB gravada na extensão *geotiff*. O *CompPlexus* importa a matriz 200x200x3 da imagem e disponibiliza uma planilha interativa para a realização dos cálculos das medidas SDL e LMC.



(a)



(b)



(d)



(c)

Figura 2. (a) Interface do programa *CompPlexus*. (b) Dados ASCII inseridos no programa. (c) Planilha com resultados de complexidade das diferentes métricas. (d) Exemplo de um gráfico gerado para valores de SDL por banda.

Nesta versão o programa encontra-se preparado para rodar em dois sensores multiespectrais diferentes (Figura 2. a), o ASTER e o Landsat TM.

4. Resultados

Os resultados obtidos pelo programa *CompPlexus* para as áreas homogêneas e heterogêneas selecionadas na imagem ASTER da E.E.Itirapina e entorno são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Resultados para a medida SDL

banda	campolimpo	camposujo	cerradão	pinus	heterogênea1	heterogênea2	heterogênea3	heterogênea4
	SDL	SDL	SDL	SDL	SDL	SDL	SDL	SDL
1	0,84839	0,83006	0,86227	0,84384	0,92881	0,89935	0,93381	0,90412
2	0,86779	0,86238	0,88969	0,72700	0,92455	0,89727	0,94654	0,92762
3	0,87076	0,81020	0,84081	0,88962	0,91500	0,92462	0,93352	0,91416
4	0,81952	0,82105	0,89740	0,82330	0,91456	0,90551	0,88570	0,93401
5	0,83428	0,83226	0,85840	0,84503	0,92515	0,91389	0,88237	0,93172
6	0,80340	0,85397	0,87900	0,83047	0,92006	0,92138	0,89758	0,94244
7	0,83820	0,82834	0,83793	0,79771	0,92445	0,91429	0,88850	0,94542
8	0,81746	0,84648	0,85665	0,85863	0,94293	0,92236	0,90328	0,94061
9	0,79140	0,81335	0,82930	0,85033	0,90924	0,91165	0,92116	0,94193

Tabela 2. Resultados para a medida LMC

banda	campolimpo	camposujo	cerradão	pinus	heterogênea1	heterogênea2	heterogênea3	heterogênea4
	LMC	LMC	LMC	LMC	LMC	LMC	LMC	LMC
1	0,12842	0,13802	0,11859	0,13024	0,06577	0,08996	0,06172	0,08540
2	0,11397	0,11471	0,09765	0,19736	0,06884	0,09134	0,05059	0,06584
3	0,11194	0,15264	0,13382	0,09777	0,07759	0,06966	0,06187	0,07812
4	0,14739	0,14386	0,09131	0,14373	0,07694	0,08556	0,10067	0,06124
5	0,13804	0,13914	0,12049	0,13010	0,06881	0,07847	0,10022	0,06349
6	0,15518	0,12398	0,10400	0,14047	0,07271	0,07225	0,09021	0,05421
7	0,13416	0,13849	0,13501	0,15788	0,06928	0,07834	0,09643	0,05156
8	0,14774	0,12912	0,12114	0,11758	0,05379	0,07159	0,08544	0,05581
9	0,16508	0,15138	0,13970	0,12423	0,08142	0,08051	0,07166	0,05465

Legenda:

Heterogênea 1- Pinus + campo limpo + solo exposto

Heterogênea 2- Pinus + cerrado + solo exposto

Heterogênea 3- Área urbana

Heterogênea 4- Mata galeria + solo exposto +área de várzea

As áreas mais homogêneas – representadas pelas fisionomias de Cerrado (campo limpo, campo sujo e cerradão) e plantação de *Pinus* – apresentaram menores valores de complexidade pela medida SDL em comparação às áreas com padrões mais heterogêneos, independentemente da banda considerada (Tabela 1). Sendo assim, a aplicação da medida SDL por intermédio do programa *CompPlexus* mostrou-se coerente com a base conceitual que apoia tal métrica, ou seja, a de que maiores valores de complexidade estão associados a padrões mais desorganizados.

Para a medida de complexidade LMC, o programa *CompPlexus* também forneceu resultados coerentes com o arcabouço teórico que embasa a medida: a de que padrões com heterogeneidade intermediária são mais complexos do que padrões muito ordenados ou demasiadamente heterogêneos. Conforme mostrado na Tabela 2, as áreas representadas por padrões mais heterogêneos (e, portanto, mais desordenados) obtiveram menores valores de complexidade.

Outra aplicação presente no *CompPlexus* é a geração de gráficos que correspondem às “assinaturas de complexidade” que permitem distinguir padrões homogêneos e heterogêneos. Tais gráficos apresentam, no eixo x, as bandas do sensor e, no eixo y, os valores obtidos pelas medidas SDL ou LMC para cada banda (Figura 2-d). Esse recurso permite uma comparação visual dos diferentes padrões, possibilitando uma interpretação rápida dos resultados.

5. Conclusões

O programa *CompPlexus* é capaz de diferenciar através das métricas utilizadas, alvos com padrões heterogêneos de homogêneos de sensores remotos multiespectrais de maneira eficiente, abrindo novas possibilidades de análise da paisagem. Com a implementação do programa, ainda em desenvolvimento, podemos realizar os cálculos que antes eram realizados pelo software Excel e MatLab em várias etapas, agora de modo simplificado, rápido e com maior capacidade de visualização e análise (e.g. gráficos, tabelas) com todas as variáveis.

Os algoritmos utilizados mostraram-se robustos e estáveis quanto a implementação das equações originais, podendo ser modificados facilmente para diferentes linguagens de programação, as quais já objetivam estabelecer interfaces com softwares de processamento de imagens conhecidos, bem como com a capacidade de exportação para diferentes formatos comuns à Geotecnologias.

6. Agradecimentos

À equipe de pesquisa e desenvolvimento do projeto Agspec da Embrapa CNPM e respectivos parceiros do Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle da Escola Politécnica da USP e Instituto de Geociências da Unicamp, pela orientação e apoio as atividades desenvolvidas nesse trabalho.

7. Referências Bibliográficas

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

Farina, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235p.

FEAGIN, R.A. Heterogeneity versus homogeneity: a conceptual and mathematical theory in terms of scale-invariant and scale-covariant distributions. **Ecological Complexity**, v.2, p.339–356, 2005.

KANEKO, K., TSUDA, I. **Complex Systems: chaos and beyond**. Berlim: Springer Verlag, 2001. 257p.

Mattos, S. H. V. L., **Complexidade dos padrões espaciais e espectrais de fitofisionomias de Cerrado no estado de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. Inst. de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 2010.

McGarigal, K. & Marks, B.J. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure (version 2.0). 1994. Disponível em < <http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>>

McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts. Disponível em < <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>

Naveh, Z.; Lieberman. **Landscape ecology theory and application**. 2a. edição. Springer-Verlag, Nova York.

Plano de Manejo Integrado da Estação Ecológica de Itirapina. Disponível em <http://www.iflorestal.sp.gov.br/Plano_de_manejo/eec_itirapina/Plano_de_Manejo_EEc_Itirapina.pdf> Acessado em 5 de nov. 2012.

Shiner, J.S. & Davison, M. Simple measure of complexity. **Physical Review E**, v.59, n.2, p.1459-1464, 1999.

VICENTE, L. E. **Caracterização de Sistemas Ambientais Tropicais Complexos utilizando análise Sistêmica e Classificação Hiperespectral de dados do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)**. 2007. 192 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VICENTE, L. E.; FILHO, C. R. S.; FILHO, A. P. O uso do infravermelho de ondas curtas (SWIR) no mapeamento de fitofisionomias em ambiente tropical por meio de classificação hiperespectral de dados do sensor ASTER. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. INPE, 2007. Artigos, p. 1915-1922. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.18.28/doc/1915-1922.pdf>>